

# The middle ear muscles of the rat : morphological and functional aspects

Citation for published version (APA):

van den Berge, H. (1990). *The middle ear muscles of the rat : morphological and functional aspects*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Maastricht University. <https://doi.org/10.26481/dis.19900223hb>

## Document status and date:

Published: 01/01/1990

## DOI:

[10.26481/dis.19900223hb](https://doi.org/10.26481/dis.19900223hb)

## Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

## Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

## General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.umlib.nl/taverne-license](http://www.umlib.nl/taverne-license)

## Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

---

## CHAPTER 8

### Summary

In the first Chapter a historical review and the current theories concerning the function of the middle ear muscles are presented. From the studies in the past it became clear that the middle ear muscle reflex is an input control mechanism for the inner ear. In most mammals the tensor tympani and stapedius muscles are activated reflexively by sufficiently loud acoustic stimuli. Next to the acoustic stimuli, other stimuli such as yawning, certain tactile stimuli and the intention of production of speech have proven to elicit the middle ear muscle reflex. However, the acoustic stimuli seem to be the main elicitor of the muscles, hence the term acoustic reflex. On contraction of the muscles the biomechanical system of the ossicular chain is influenced, resulting in an attenuation of sound transmission to the inner ear. This mechanism would prevent the inner ear from over stimulation. In the past this has led to two interesting theories about the function of the middle ear muscles. They would prevent the inner ear from noise damage and they would improve the perception of speech especially during vocalisation and in noise. However, several objections have been made. The reflex would be too slow to protect against impact noise. Secondly, a process of fatigue of the reflex would occur rapidly. Finally, the amount of attenuation would be small and limited to the lower frequencies.

This problem has led to several concrete questions such as: How do the muscles exert their function in the biomechanical system of the middle ear? What is the effect of contraction of the muscles on sound transmission? Are the muscles able to exert their function fast? Are the muscles able to exert their function for longer periods of time?

To find clues to these questions an integrated study in morphology and function of the muscles was desired, the first results of which are presented in this thesis concerning the rat.

In Chapter 2, graphic three dimensional reconstructions of the tympanic bulla of the rat were made. This was done to gain insight in the topographical anatomy of the middle ear of the rat and to study the biomechanical system of the ossicular chain middle ear muscle complex in detail. For this purpose 85 drawings (i.e. one drawing every 50  $\mu\text{m}$ ) of sections of complete tympanic bullae were fed into a computer. With the help of the computer the various anatomical structures could be mounted upon each other for reconstruction. In this way the topographical anatomy of the structures could be studied from different angles. Finally, plastic graphical representations were made by the medical artist. In this way the topographical anatomy of the tympanic bulla is visualised. It was concluded that on the basis of the topographical anatomy, the muscles are likely to act synergistically in increasing the stiffness of the ossicular chain.

In Chapter 3 various morphological aspects of the tensor tympani were studied. Several atypical characteristics compared to normal skeletal muscles were found. The muscle was composed of relatively small muscle fibres which were shaped irregularly. Electron microscopically, bundles of myofilaments branched to connect to other bundles of myofilaments. The enzyme histochemical stainings proved the muscle to be mainly composed of type IIA fibres. A small part of the muscle fibre population proved to be slow twitch, however, since these fibres showed both high SDH and GPox content they could not be classified as the classical type I fibres. Discrepancies were found when anti heavy chain myosin antibodies were used for fibre typing. Different adult heavy chain myosins isotypes coexisted in one single muscle fibre. In general, the muscle proved to be organised to perform an isometric contraction pattern, with the possibility of a fast contraction pattern and with a high fatigue resistance.

Chapter 4 presents an analogous morphological study of the stapedius muscle. This very small circumpennate muscle proved to be arranged to have an isometric contraction pattern also. Based on the morphological findings, the ultimate contraction force was likely to be smaller than that of the tensor tympani muscle. It is postulated that this does not necessarily implicate a less important influence on sound transmission. The contraction pattern was fast-twitch since the majority of the

muscle fibres were IIA fibres. All fibres showed high resistance to fatigue. As in the tensor tympani muscle, different adult heavy chain myosins coexisted within one muscle fibre. In conclusion, this muscle also showed several atypical morphological characteristics compared to normal skeletal muscles. It is equipped to contract fast with high endurance.

Chapter 5 describes the morphological substrate of the innervation of both middle ear muscles. The gross innervation of the muscles and the relations to other nerves in the tympanic bulla are described. It was shown that both muscles are innervated by very thin nerve fibres. These fibres form a well organized elaborate network of nervous tissue in both muscles, with very short branches that connect with the motor endplates. Electron microscopically the endplates in the stapedius muscle seemed to be prepared for a faster activation of the muscle fibres than the tensor tympani muscle. No morphological substrate for any sensory innervation of the muscles could be detected, neither in the muscles themselves, nor in the tissues surrounding the muscles. It is postulated that the muscles act as motor end organs and that afferent information from the muscles themselves is not important for the function of the acoustic reflex.

Chapter 6 presents the results of an electrophysiological study of the middle ear muscle reflex. During Vetalar<sup>®</sup> anaesthesia the rise time, the latency and the influence of the acoustic reflex on sound transmission were studied. This was done by measurements of the cochlear microphonics (CM) and the electromyograms (EMG) of the tensor tympani muscle. It was shown that both the tensor tympani and the stapedius muscle are active in the reflex. The rise time of the reflex proved to be very short (min. value: 6.6 msec). The latency of the reflex was short too, compared to other mammals. The shortest latency of the reflex determined by recordings of the CM was 11.6 msec, while the mean latency of the tensor tympani muscles measured by EMG was about 7 msec. The attenuation of 0.25-8 kHz tone bursts of 115 dB SPL is limited to a mean maximum of 15 dB. 1 kHz was shown to be attenuated the most. The tones above 2 kHz appeared to be the best elicitors of the middle ear muscle reflex. Relatively large interindividual differences were found.

In Chapter 7 the results of the five separate studies are integrated and discussed in the light of the questions stated in the introduction (Chapter 1).



## Samenvatting

In het eerste hoofdstuk wordt een historisch overzicht gegeven van het tot op heden verrichte onderzoek naar de functie van de middenoorspielen. Hieruit blijkt dat de middenoorspier reflex een belangrijk input controle mechanisme van het binnenoor vormt. Bij de meeste zoogdieren worden de musculus tensor tympani en de musculus stapedius reflexmatig geactiveerd door voldoende luide acoustische stimuli. Behalve geluidsprikkels kunnen ook andere prikkels zoals gapen, bepaalde tactiele prikkels en de intentie tot spreken de middenoorspierreflex activeren. De belangrijkste stimulus blijkt echter de acoustische stimulus te zijn. Wanneer de spieren tot contractie worden gebracht wordt het biomechanische systeem van trommelvlies-gehoorbeenketen-complex beïnvloed, resulterend in een vermindering van de geluidstransmissie naar het binnenoor. Bepaalde geluidsfrequenties kunnen hierbij zelfs versterkt worden. Dit mechanisme zou het binnenoor beschermen tegen over-stimulatie. In het verleden heeft deze veronderstelling geleid tot twee interessante theorieën over de functie van de middenoorspielen. Zo zou het binnenoor door de reflex worden beschermd tegen lawaaibeschatiging en zou het spraakverstaan door de reflex worden verbeterd, dit laatste met name tijdens het zelf foneren en in het verkeren in een lawaaierige omgeving. Er zijn echter verscheidene bezwaren tegen deze theorieën aangevoerd. De reflex zou te langzaam zijn om bescherming te kunnen bieden tegen de invloed van plotseling lawaai. Bovendien zou de reflex snel vermoeibaar zijn. Tenslotte zou de mate van demping klein zijn en beperkt blijven tot de lagere tonen. Teneinde meer inzicht hierin te verkrijgen moet een antwoord worden gezocht op de volgende vragen: Hoe beïnvloeden de middenoorspielen het biomechanische systeem van het middenoor? Wat is het effect van contractie van de spieren op de geluidstransmissie? Kunnen de spieren snel hun functie vervul-

len? Kunnen de spieren over langere perioden hun functie vervullen? Om deze vragen te kunnen beantwoorden was een geïntegreerde studie in de morfologie en de functie van de spieren in één en dezelfde species gewenst, hetgeen heeft geleid tot de onderhavige studie bij de rat.

In Hoofdstuk 2 wordt de topographische anatomie van de bulla tympanica met nadruk op het biomechanische systeem van gehoorbeenketen en middenoorspieren van de rat beschreven. Dit word gedaan aan de hand van driedimensionale grafische reconstructies. Om deze reconstructies te verkrijgen werden 85 tekeningen van coupes (dwz om de 50  $\mu\text{m}$ ) van hele bullae ingevoerd in de computer. Op deze wijze konden de verschillende onderdelen van de bulla worden gereconstrueerd en van alle kanten worden bestudeerd door het aanzicht met behulp van de computer te veranderen. Met behulp van deze computer reconstructies konden door de medisch tekenaar plastische presentaties worden gemaakt. De topografische anatomie van de bulla tympanica wordt zo gevisualiseerd. Op grond van de reconstructies lijkt het aannemelijk dat de middenoorspieren een synergistisch effect hebben op het vergroten van de stijfheid van de gehoorbeenketen.

In het derde hoofdstuk worden de resultaten van de gedetailleerde morfologische studie van de musculus tensor tympani van de rat beschreven. De spier blijkt in vergelijking met de normale skeletspieren een aantal bijzondere morfologische kenmerken te bezitten. De musculus tensor tympani is opgebouwd uit relatief kleine, onregelmatig gevormde spiervezels. Uit electronenmicroscopisch onderzoek van de spiervezels blijkt dat bundels myofilamenten zich vertakten en een verbinding vormden met ander bundels myofilamenten. De enzymhistochemische kleuringen tonen dat de spier hoofdzakelijk bestaat uit IIA vezels. Een klein deel van de spiervezels is slow-twitch, maar aangezien deze vezels zowel een hoge activiteit van SDH als GPox toonden, kunnen ze niet worden gerekend tot de klassieke type I vezel. Bij de vezeltypering met behulp van monoclonale anti heavy chain myosine antilichamen werden discrepanties gevonden. Verschillende volwassen heavy chain myosine isotypes komen samen in spiervezels voor, een fenomeen dat in de gewone skeletspier van de rat niet werd gevonden. Samenvattend wordt op grond van dit morfologisch onderzoek geconcludeerd dat de spier waarschijnlijk een isometrisch contractiepatroon heeft, waarbij de spier tot snelle contractie in staat moet worden geacht, gepaard gaande met een relatief grote onvermoeibaarheid.

In Hoofdstuk 4 worden de resultaten van een analoge studie van de musculus stapedius besproken. Deze bijzonder kleine circumpennate spier vertoont waarschijnlijk eveneens een isometrisch contractiepatroon. Op grond van de morfologische bevindingen zal de contractiekracht kleiner zijn dan die van de musculus tensor tympani. Er worden argumenten gegeven waarom dit niet hoeft te betekenen dat de musculus stapedius dan ook een geringere invloed op de geluidstransmissie heeft. De spiervezels blijken voor het merendeel van het type IIA te zijn, een indicatie voor een snel contractiepatroon en een relatieve onvermoeibaarheid. De spier zou dus in staat moeten zijn snel en gedurende langere tijd te kunnen contraheren. Tenslotte laat ook deze spier verschillende bijzondere atypische morfologische kenmerken zien vergeleken met gewone skeletspieren, zoals bijvoorbeeld de aanwezigheid van verschillende volwassen typen heavy chain myosines binnen een spiervezel.

In Hoofdstuk 5 worden de resultaten van de studie naar de morfologische grondslag van de innervatie van beide middenoorspiers bescreven. De innervatie van de spieren en de relatie met andere zenuwen in de bulla tympanica worden beschreven. De zenuwvezels vormen in beide spieren een nauw omschreven netwerk van zenuwweefsel. Zeer korte vertakkingen vormen de verbindingen met de motorische eindplaatjes. Electronenmicroscopisch lijken de eindplaatjes van de musculus stapedius een snellere activatie van de spiervezels mogelijk te maken dan bij de tensor tympani. Voor een sensorische innervatie kon geen morfologische basis worden gevonden, noch in de spieren zelf, noch in het bindweefsel direct rond de spieren, noch in de bulla tympanica. Verondersteld wordt dat de spieren dienen als motorische eindorganen en dat aanvoerende informatie van de spieren zelf de middenoorspierreflex beïnvloed.

In Hoofdstuk 6 worden de resultaten van een electrofysiologisch onderzoek naar de middenoorspierreflex van de rat besproken. Gedurende algehele narcose door middel van Vetalar werden de contractie tijd, de latentietijd en de invloed van de reflex op de geluidstransmissie onderzocht. Dit gebeurde door middel van metingen van de cochleaire microfonie (CM) en electromyografie (EMG) van de musculus tensor tympani. Het blijkt dat, in tegenstelling tot wat gedacht wordt bij de mens, zowel de musculus tensor tympani als de musculus stapedius consequent worden geactiveerd door acoustische stimuli. De contractietijd van de spieren samen blijkt zeer kort te zijn, te weten minimaal 6,6



msec. Ook de latentietijd van de reflex is kort vergeleken bij die van andere zoogdieren. De kortste latentietijd van de reflex, bepaald middels de CM was 11,6 msec, terwijl de gemiddelde latentietijd van reflex response van de musculus tensor tympani, gemeten middels EMG ongeveer 7 msec is. De demping van 0,25-8 kHz toon-bursts van 115 dBSPL blijkt bij metingen bij zes ratten maximaal gemiddeld 15 dB te zijn. Het effect op de geluidstransmissie is het grootste bij 1 kHz. De middenoor-spierreflex blijkt het beste te worden geactiveerd door frequenties boven de 2 kHz. Er blijken relatief grote interindividuele verschillen te bestaan met name ten aanzien van de mate van het dempend effect.

In het laatste hoofdstuk wordt getracht de in de inleiding gestelde vragen te beantwoorden. Hiertoe worden de bevindingen uit de verschillende hoofdstukken geïntegreerd en besproken.